Prof. A. Garbasso

I principii della meccanica.

Estratto dagli *Atti della Società Italiana per il Progresso delle Scienze*
VII Riunione — Siena, settembre 1913.

ROMA
TIPOGRAFIA NAZIONALE DI G. BERTERO E C.
Via Umbria

1914

DISCORSO INAUGURALE.

I principii della meccanica.

Prof. ANTONIO GARBASSO.

Il discorso inaugurale dell'ultimo Congresso era *intonato*, senza dubbio, all'ambiente.

A tutti dovette sembrare singolarmente opportuno che si discutessero la prima volta i problemi giuridici suggeriti dalla conquista dell'aria nella città dove nacque il diritto del mare, nel palazzo dove il doge e i senatori della Repubblica di Genova quel diritto avevano svolto e applicato con sottile acume e con sicura prudenza.

Meno opportuno può parere che si cerchi di descrivere, nelle grandi linee, lo stato presente della filosofia naturale in questa gentile Siena, dove pregano ancora le Madonne di Duccio e di Sano, in questa nobile sala, dove, memore di altri tempi e di altri costumi, Guido Riccio cavalca nell'affresco di Simone Martini.

Ma il contrasto fra ciò che è bello e ciò che è vero, è di origine dottrinale, e non deriva dalla realtà delle cose.

Che l'attività scientifica e l'estetica sieno essenzialmente distinte è appena un pregiudizio di pochi pensatori unilaterali il quale non ha radici, da quella in fuori, profondissima senza dubbio, della loro personale ignoranza specifica.

Gli scopi invece delle arti figurative e della scienza sono identici, come sono identici i mezzi. Perchè artisti e scienziati cercano di intendere l'universo esteriore, e per intenderlo e per farlo intendere procurano di darne una rappresentazione.

Che questa poi si concreti in un quadro o in un modello meccanico, o in una equazione differenziale, tocca la forma e non altera la natura logica del procedimento.

Per una coincidenza, che ai maestri dell'estetica dovette apparire curiosa, mentre si annunciava che l'ottavo volume della storia del Venturi avrebbe posto in nuova luce l'azione esercitata da Pier della Francesca sullo sviluppo della pittura umbra e toscana, il senatore Volterra presentava all'Accademia dei Lincei un manoscritto del Maestro di Borgo San Sepolcro, nel quale si contiene il

primo saggio di quella *Scienza di prospettiva* che GASPARE MONGE doveva sistemare, tre secoli più tardi.

Ora, se la grande arte e l'alta scienza si sono incontrate più volte nella stessa persona, fu appunto perchè le due attività *impongono* il medesimo procedimento, e *suppongono* dunque le medesime attitudini.

E così chi parla di fisica o di geometria può parlare spesso, se ne è capace, di cose belle: belle proprio nel senso in cui diciamo bella la fonte Gaja o la torre del Mangia.

***

I filosofi moderni, senza distinzione di scuole, da AUGUSTE COMTE scendendo giù giù fino a BENEDETTO CROCE, hanno avuto ed hanno, sulla meccanica razionale, delle idee estremamente semplici e chiare.

Essi sanno, ad esempio, che la meccanica precede la fisica: dato che questa abbia lo scopo di interpretare meccanicamente l'universo.

Spero che non mi sarà imputato a cattiva volontà se dovrò esporre dei fatti, dai quali risulta per l'appunto il contrario.

Realmente, negli ultimi cinquant'anni, lo studio dei fenomeni termici, dei fenomeni elastici ed elettromagnetici, suggerì tutta una serie di nozioni che son venute ad accrescere il patrimonio tradizionale della meccanica.

D'altra parte sembra certo, per testimonianze autorevolissime, che i principî meccanici siano *puri* e *a priori*.

Io non mi sento di scuotere e ancora meno di abbattere una dottrina così bene fondata; mi accontenterò invece di far vedere con quale complicato apparecchio di esperienze e di calcoli si costruisca sotto i nostri occhi l'*a priori*.

***

La scienza della meccanica è quasi interamente moderna; gli antichi infatti avevano risolto appena le quistioni più elementari della statica. Essi hanno dato bensì il primo saggio di due indirizzi, che durano ancora al tempo nostro.

ARISTOTELE, al quale si può attribuire la scoperta del principio dei lavori virtuali, fu l'iniziatore della fisica *qualitativa*, e gli energetici contemporanei derivano, in un certo senso, da lui.

Mentre i meccanici più propriamente detti fanno capo ad ARCHIMEDE, che stabilì per il primo, in una forma rigorosa, la condizione di equilibrio della leva.

Le idee di ARISTOTELE e di ARCHIMEDE furono riassunte e applicate nel *Baroûlkos*, l'*Elevatore*, di ERONE ALESSANDRINO. L'originale di quest'opera ci è noto solo da pochi anni, ma le cose più importanti di essa passarono in una compilazione di data incerta, il *Liber de Ponderibus*, attribuito ad un JORDANUS NEMORARIUS, il quale *Liber* fu largamente utilizzato e commentato nelle scuole medioevali.

Dell'autore non sappiamo nemmeno se sia identico ad un JORDANUS DE SAXONIA, generale dei domenicani nel 1222, o non piuttosto, come suppone il DUHEM, ad un GIORDANO DA NEMI (JORDANUS DE NEMORE).

La statica *rinasce* alla fine del 500 con SIMONE STEVINO, che vide chiara la regola per la composizione delle forze, e dedusse la teoria del piano inclinato, nel caso dell'equilibrio, dall' impossibilità del moto perpetuo.

Ma la dinamica *nasce* con GALILEO.

È un vezzo recente di taluni scrittori, quasi sempre francesi, quello di sminuire l' importanza del nostro filosofo, e fa più torto a loro che a lui.

Che LEONARDO avesse in meccanica, come in anatomia e in tante altre scienze, qualche intuizione geniale, è interessante senza dubbio, dal punto di vista della psicologia del genio. Storicamente però non fu dimostrato che delle sue scoperte giungesse notizia ai contemporanei o ai posteri immediati; e non fu dimostrato perchè, forse, non era dimostrabile.

È accaduto a LEONARDO quello stesso che a BACONE, che pure aveva pubblicato il *Novum Organum*. NEWTON non lo conobbe e non lo cita nemmeno una volta nel Libro dei Principii.

Lord FRANCESCO BACONE fu scoperto dal signor di VOLTAIRE nelle *Lettres Anglaises* (1728) e LEONARDO meccanico da GUGLIELMO LIBRI nell'*Histoire des Sciences mathématiques en Italie* (1838-41).

Anche minore influenza che al Maestro della *Cena* e della *Gioconda* si deve assegnare a certi teologi dell'Università di Parigi, ai quali un signor DUFOURCQ, in un curioso articolo della *Revue des deux Mondes*, attribuiva recentemente una parte notevole nella fondazione della scienza moderna.

In realtà si può affermare di quegli scolastici ciò che il POGGENDORFF osservava, con poca reverenza, dei filosofi greci nella *Storia della Fisica:* che essi ne hanno dette talmente di tutti i colori, che non riesce difficile scovare nelle loro opere il germe di tutte le teorie più recenti, delle vere e delle false.

***

GALILEO conobbe la legge dell'inerzia, che si suole attribuire a KEPLERO, considerò la forza come acceleratrice, definì per il primo la velocità e l'accelerazione tangenziale, applicò al moto la regola del parallelogramma nel caso particolare della discesa per il piano inclinato.

Dopo di lui HUYGHENS avvertì l'accelerazione normale e dimostrò nella forma più semplice la legge della conservazione dell'energia.

NEWTON finalmente introdusse il concetto della massa, e stabilì l'uguaglianza fra l'azione e la reazione.

In un secolo o poco più i principî della meccanica sono fissati, per sempre.

Il lavoro ulteriore si riferisce alla forma e non alla materia della nuova scienza. E appartiene ai BERNOUILLI, a LEONARDO EULERO e a LUIGI LAGRANGE.

A LAGRANGE spetta anzi la prima parte e la più importante in questa opera di sistemazione; parte mirabile per molti rispetti, ma non interamente benefica, a mio modo di vedere.

Dal punto di vista estetico la *Mécanique analytique* è senza contrasto una delle cose più belle e più perfette che gli uomini abbiano fatto; bisogna forse risalire agli *Elementi* di EUCLIDE per trovare, in tutta la letteratura scientifica, un termine di confronto adeguato per l'eleganza e il rigore e la poderosa unità.

Ma dal punto di vista logico LAGRANGE ebbe il torto di non mettere abbastanza in luce l'origine sperimentale dei suoi postulati, e, per così dire, di apriorizzare la meccanica.

È stato detto che quando la casa è costruita conviene abbattere le impalcature, ma il paragone non calza; quando la casa è costruita non si eleva un altro piano se non si ricorda con molta esattezza come furono gettate le fondamenta, e se le fondamenta non bastano al nuovo peso, bisogna rafforzarle e allargarle prima di procedere avanti.

Se AUGUSTE COMTE, che pure aveva rispetto agli epigoni di KANT e a certi contemporanei nostri il vantaggio indiscutibile di non ignorare le scienze sulle quali filosofava, fece della meccanica qualche cosa di diverso dalla fisica, se la pose nel suo schema accanto alla geometria, bisogna riconoscere che egli si trovava sotto l'influenza dell'opera di LAGRANGE.

Di LAGRANGE sono figliuoli, secondo la logica, JACOBI ed HAMILTON, che perfezionarono mirabilmente i metodi di calcolo, senza rendere più larghe o più salde le basi della filosofia naturale.

Perchè la scienza del moto potesse assumere nuovi postulati, perchè potesse introdurre altre nozioni e rivolgere lo studio ad altri enti, si doveva, come a tempo di ARCHIMEDE e di GALILEO, utilizzare ancora una volta i resultati della fisica.

Questo fu fatto nell'ultimo mezzo secolo per molte vie differenti, ma per vie in qualche modo parallele.

ENRICO HERTZ ha veduto come nessun'altro il carattere comune che informa le dottrine meccaniche moderne, e lo ha esposto in una pagina che giova rileggere.

« Se ci proponessimo di comprendere i moti dei corpi che ne cir-
« condano, e di ridurli a regole semplici e chiare, e se in questo ten-
« tativo volessimo tener conto solamente di ciò che cade sotto i sensi,
« la nostra fatica, almeno in generale, riuscirebbe a vuoto.

« Noi ci dovremmo ben tosto convincere che il complesso di ciò
« possiamo vedere e toccare non forma punto un universo regolare,
« un universo nel quale da condizioni uguali scaturiscano sempre le
« stesse conseguenze. Ne dovremmo conchiudere che vi sono nel mondo
« più cose di quelle che sono immediatamente osservabili coi sensi.

« Volendo formarci dell'universo una rappresentazione completa
« e chiusa in sè e regolare, ci è giuocoforza, dietro le cose che vediamo
« supporne altre invisibili, dobbiamo, dietro le barriere che il senso ci
« impone, ricercare ancora degli enti nascosti ».

La meccanica moderna fu in realtà la meccanica dei moti nascosti e delle masse nascoste, e lo fu con due indirizzi diversi: in quanto cercò di escludere dalle sue considerazioni quei moti e quelle masse, limitandosi allo studio delle variabili date immediatamente dalla osservazione, e in quanto procurò invece di determinare le masse nascoste e le leggi dei loro movimenti.

Nel primo ordine di ricerche van poste la termodinamica e l'elettrodinamica classica e forse la meccanica ereditaria, mentre nel secondo rientrano la meccanica statistica, la dinamica degli elettroni, e, in parte almeno, la meccanica della relatività e la teoria atomica dell'energia.

Ma fra i due indirizzi si interpone sempre *una forma di passaggio*.

Da principio si studiano sperimentalmente i fenomeni e se ne enunciano le leggi; le quali prendono la forma di equazioni fra le grandezze accessibili alla misura.

Molti anche a tempo nostro, ritengono che ci si debba fermare qui.

PLATONE, e lo attesta SIMPLICIO nel Commentario ai quattro

enti nascosti

leggi – equazioni

2°

Libri *De Coelo* di Aristotele, Platone faceva già un passo ulteriore, quando poneva come compito agli astronomi di determinare i moti circolari e uniformi che permettono di salvare le apparenze dei pianeti.

Platone preconizzava anzi l'impiego dei modelli meccanici, affermando che «si farebbe opera vana ove si tentasse di esporre co- « desti fenomeni senza ricorrere all'uso di imagini che parlino agli « occhi ».

Del significato profondo della posizione platonica ci siamo resi conto appena in questi ultimi anni; e il merito risale, indirettamente, a Lagrange.

Prima di Lagrange nelle equazioni della dinamica comparivano tutte le coordinate geometriche delle varie masse componenti il sistema. Egli osservò che tenendo conto dei vincoli si potevano eliminare altrettante coordinate, e si poteva mantenere da ultimo un numero di variabili uguale a quello dei gradi di libertà; le quali variabili residue non sono necessariamente delle coordinate geometriche libere, ma anzi possono essere funzioni di queste ultime.

Ora, se un fenomeno naturale è di origine meccanica, le sue leggi dovranno potersi scrivere sotto la forma delle equazioni di Lagrange; e le variabili saranno delle grandezze che cadono sotto i sensi e comportano una misura diretta.

Per stabilire dunque la meccanicità di un sistema è necessario e sufficiente riconoscere la coincidenza formale fra le leggi ricavate dall'esperienza e le equazioni di Lagrange.

Ma il lavoro analitico si può anche evitare; ricorrendo, come suggeriva Platone, ad una *icona* del sistema naturale.

Chi costruisce un modello di un fenomeno ne dimostra infatti il carattere meccanico: in tanto un modello è modello in quanto le sue equazioni sotto la forma di Lagrange coincidono con le leggi sperimentali del fenomeno.

Questa era la portata e questo il valore logico del pensiero di Platone.

Taluni scienziati moderni arrivano fino a Platone, ma si rifiutano di andare più avanti.

I Greci avevano veduto invece, ancora una volta, la possibilità di procedere, e quello che Adrasto di Afrodisia diceva di Ipparco si potrebbe ripetere degli agnostici contemporanei.

Il grande astronomo aveva riconosciuto come i moti dei pianeti si potessero spiegare ugualmente bene con l'ipotesi delle sfere eccentriche e con quella degli epicicli.

Ma, nota ADRASTO, presso TEONE SMIRNEO, « non avendo il *senso* « *della fisica*, IPPARCO non seppe riconoscere quale dei due sistemi si « accordi con la natura delle cose, e quale coincida con le apparenze « solo per accidente ».

GALILEO, cui non si può negare il senso della fisica, era senza dubbio nell'ordine di idee di ADRASTO di Afrodisia.

Perchè scriveva nelle lettere sulle macchie solari che « gli astro- « nomi filosofi, oltre alla cura del salvare in qualunque modo le ap- « parenze, cercano di investigare come problema massimo ed ammi- « rando la vera costituzione dell'universo, poichè tale costituzione è « ed è in un modo solo, vero e reale ».

Riassumendo, il processo logico della ricerca si svolge in tre momenti successivi: la scoperta delle leggi, la prova della meccanicità, la determinazione delle masse e dei moti.

***

Per riscaldare, poniamo, di un grado una massa gassosa raccolta entro un recipiente indeformabile, occorre una certa quantità di calore; ma ne occorre assai più se il recipiente è provvisto di un embolo, per modo che il gas si dilati mentre viene scaldato.

Un medico di Heilbronn nel Würtenberg, LUIGI RODOLFO MAYER, osservava, l'anno 1842, che nel secondo caso la dilatazione del gas, o, in altre parole, lo spostamento dell'embolo, importa un lavoro, e suggeriva l'ipotesi che il calore consumato in più equivalesse in qualche modo al lavoro compiuto.

Il MAYER faceva anzi vedere come dai dati sperimentali che erano a sua disposizione si potesse ricavare la misura di quella equivalenza.

L'anno appresso un birrajo di Salford presso Manchester, GIACOMO PRESCOTT JOULE, risolveva per altra via il medesimo problema.

Egli faceva agire una macchina magnetoelettrica, e misurava il calore svolto nel circuito. Il resultato era questo: che il calore stava sempre in proporzione col lavoro speso a girare la macchina.

Seguirono altre ricerche nello stesso indirizzo, e finalmente, nel 1847, ERMANNO HELMHOLTZ enunciò sotto una forma matematica rigorosa il principio della conservazione dell'energia.

HUYGHENS aveva stabilito, come ho ricordato a suo tempo, che in un sistema meccanico la somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale rimane costante e HELMHOLTZ mostrava che per tener conto dei fenomeni termici basta aggiungere ancora alla somma la *quantità di calore*.

*

Presto si riconobbe però che il terzo termine aveve una natura alquanto diversa dagli altri due.

L'energia cinetica può trasformarsi interamente in potenziale e la potenziale in cinetica, o, come si suol dire, i fatti meccanici, nell'accettazione più particolare del vocabolo, sono *reversibili*.

E la reversibilità è legata del resto con la forma delle equazioni del moto.

Ma quando il terzo termine entra in giuoco, le cose diventano assai meno semplici; perchè l'energia cinetica può passare integralmente in calore, mentre il calore non si trasforma per intero in energia cinetica.

Il fenomeno termico non è mai reversibile. Se ne deve forse concludere che esso non si potrà dunque ridurre alle leggi della dinamica classica, o che *non è un fenomeno di movimento?*

L'indirizzo energetico adottò questo modo di vedere.

« Tentare, scrisse il DUHEM, tentare di ridurre alla figura e al mo-
« vimento tutte le proprietà dei corpi sembra un'impresa chimerica.

« ..... una simile riduzione sarebbe in contrasto con la natura
« delle cose materiali.

« Noi siamo obbligati a ricevere nella fisica altra cosa che non
« siano gli elementi quantitativi che il geometra considera, siamo ob-
« bligati ad ammettere che la materia ha delle *qualità* ».

In un certo senso l'energetica richiamò dunque in vita le nozioni più essenziali della fisica aristotelica.

Fu bensì, nel pensiero dei seguaci più entusiasti, un Aristotelismo stranamente metafisico e pragmatistico, che ebbe un giorno di voga quando GUGLIELMO OSTWALD, in un famoso discorso tenuto nel 1895 al Congresso dei medici e naturalisti tedeschi, preconizzava la rovina del materialismo, o anzi la scomparsa della materia e il trionfo della divina energia.

Ora, che dai principii della termodinamica, quali ci sono forniti dall'esperienza, dal primo, della conservazione dell'energia, e dall'altro che formula il carattere dell'irreversibilità (CLAUSIUS), un uomo veramente geniale, J. WILLARD GIBBS, ricavasse le condizioni generalissime degli equilibri chimici, coordinando così e precisando tutta una serie di fenomeni, che erano stati fino a lui mal connessi e mal noti, non prova nulla per lo scopo nostro attuale, o prova soltanto che, sebbene ci si ripeta ogni giorno dai filosofi intuizionisti e neohegeliani che la scienza è una costruzione arbitraria, le leggi della natura hanno pur sempre un valore che trascende la buona e la cattiva volontà degli interpreti.

La soluzione energetica, che considera i fenomeni del freddo e del caldo come irreducibili alla figura e al moto, non acquista per questo il carattere della necessità.

Rimane sempre, legittimo, il dubbio che l'opposizione fra le leggi della dinamica e il fatto dei processi irreversibili sia più apparente che reale.

Che le cose stiano appunto così pareva anzi potersi ricavare da certe elegantissime ricerche di Ermanno Helmholtz, al quale era riuscito di ridurre, in un caso particolare, o, per meglio dire, in un caso limite, i principii della termodinamica alla forma delle equazioni di Lagrange.

Ma la dimostrazione completa e rigorosa fu data più tardi coi metodi della meccanica statistica.

La meccanica statistica è nata dalla teoria cinetica dei gas.

Daniele, figliuolo di Giovanni I Bernouilli, fin dal 1738 aveva ripreso le idee di Epicuro, considerando dunque le sostanze gassose come costituite da particelle discrete in rapido movimento.

Egli aveva giustificato senza difficoltà la legge di Boyle e di Mariotte, pure ammettendo che le molecole procedessero tutte di conserva.

Ma verso la metà del secolo scorso Augusto Kroenig, e poco appresso, con maggior rigore e con più ampli sviluppi, Rodolfo Clausius, fecero vedere che ai resultati di Daniele Bernouilli si giunge ancora sopprimendo l'ipotesi inverosimile della velocità comune e costante, e supponendo invece che rimanga inalterata la *velocità media*.

Qui si presenta per la prima volta un concetto propriamente statistico: la nuova teoria cinetica ammette che le singole molecole procedano più o meno presto, negli istanti successivi, ma dimostra che le apparenze son salve, quando appena una certa funzione delle singole velocità rimanga costante.

Lodovico Boltzmann fece poi un passo ulteriore, introducendo nello studio di questi problemi i metodi e le nozioni del calcolo delle probabilità.

L'interesse filosofico della cosa sta in ciò che i corpi aeriformi dànno luogo a fenomeni irreversibili, estremamente semplici.

Se si prendono due palloni, uno pieno d'aria e l'altro vuoto, e si fanno comunicare per una tubulatura, una parte del gas va dal primo al secondo, finchè la pressione sia dappertutto la stessa.

Ma il processo non si inverte; nessuno ha osservato mai che l'aria tornasse a raccogliersi, anche per un istante, in uno dei due palloncini.

Ebbene, il BOLTZMANN dimostra che l'inversione del fenomeno è possibile, ma è bensì estremamente poco probabile. La distribuzione naturale di equilibrio è di gran lunga la più probabile fra tutte.

Così il secondo principio della termodinamica viene presentato come una affermazione di probabilità.

J. WILLARD GIBBS, che era, come ho detto, un uomo di genio, non stette pago ai successi ottenuti nella termodinamica puramente formale, ma estendendo e generalizzando le ricerche del BOLTZMANN stabilì i fondamenti della meccanica statistica.

Nella rappresentazione del BOLTZMANN le molecole gassose sono punti materiali, si determinano dunque con tre coordinate.

Il GIBBS considera invece dei sistemi di sistemi, tutti simili e definiti da un numero qualunque di variabili; i calcoli diventano naturalmente complicatissimi, ma portano alla fine a resultati analoghi in tutto a quelli della termodinamica.

Come notava il DUHEM, nel 1903, con mal celata ironia, la coincidenza è tanto migliore quanto sono più complessi i sistemi parziali; sicchè per giustificare veramente la interpretazione meccanica bisognerebbe ammettere che l'atomo stesso possiede molti gradi di libertà.

Se il matematico francese si fosse preoccupato di cercare *come* le cose stanno nella natura, e non piuttosto di dimostrare che esse *devono* adattarsi ad un certo schema prestabilito, sarebbe per noi un precursore della nuova teoria della materia.

***

Verso il 1780 CARLO AGOSTINO COULOMB, con le esperienze su le attrazioni e le repulsioni elettriche, aveva fissato la nozione della *quantità*, e ALESSANDRO VOLTA alla fine del secolo, con le ricerche sui fenomeni del contatto, la nozione del *potenziale elettrico*.

Nel 1826 ANDREA MARIA AMPÈRE scopriva le leggi dell'elettrodinamica, assegnando così una misura alla *intensità* di corrente; e l'anno appresso GIORGIO SIMONE OHM, con la legge che porta il suo nome, definiva la *resistenza*.

MICHELE FARADAY, nel 1832, osservava l'induzione mutua e l'autoinduzione, le cui leggi furono esposte più tardi in forma analitica da FRANCESCO NEUMANN e da RICCARDO FELICI

E FARADAY stesso, dai fatti dell'elettrolisi, deduceva una relazione semplice fra la carica trasportata e l'intensità della corrente.

Con queste ricerche si chiude, nel 1833, un primo periodo della storia dell'elettrologia: le nozioni fondamentali son poste, e sono sta-

bilite le leggi che fanno dipendere le une dalle altre le grandezze immediatamente osservabili.

Lo studio dei fenomeni elettromagnetici si trova così, logicamente parlando, in quella stessa fase di sviluppo che la termodinamica raggiunse dopo la formulazione del primo e del secondo principio per opera di HELMHOLTZ e di CLAUSIUS.

A GIACOMO CLERK MAXWELL spettava l'onore di procedere innanzi. In una breve memoria pubblicata nel 1865 nelle *Transactions* della Società Reale egli riconobbe infatti la meccanicità del fenomeno elettrico.

Il suo resultato è questo: che le leggi dell'induzione mutua e dell'autoinduzione si riducono immediatamente allo schema di LAGRANGE, quando appena si considerino come *variabili* le *quantità di elettricità* che son passate, a partire da un istante arbitrario, per le sezioni dei conduttori, e come *velocità* le *intensità delle correnti.*

La relazione che si viene così ad assumere fra quantità e intensità è in pieno accordo con la legge di FARADAY, alla quale alludevo poc'anzi.

Logicamente la memoria del MAXWELL è superiore ad una ricerca analoga di HELMHOLTZ, che ho già ricordato.

HELMHOLTZ infatti aveva discusso un caso limite dei fenomeni termici, mentre il MAXWELL risolve un problema elettrodinamico come è posto dalla natura.

I resultati del MAXWELL hanno fornito lo spunto per una serie di considerazioni, dalle quali ENRICO POINCARÉ fu condotto a stabilire, nel 1894, un troppo famoso teorema. Secondo questo teorema, se di un fenomeno si sa dare una teoria se ne possono dare infinite altre, ugualmente soddisfacenti.

In linguaggio analitico, si può giungere alle stesse equazioni del tipo di LAGRANGE, assumendo in infiniti modi diversi le masse e i vincoli.

Ed è vero senza dubbio.

Il problema, conclude il POINCARÉ, di ricercare la natura delle cose è dunque sterile e vano, o anzi non è un problema. Tempo verrà che i fisici si disinteresseranno di queste indagini, estranee in tutto al loro compito.

La profezia non si è avverata; e forse non si doveva avverare. Perchè la conclusione vale ciò che valgono le premesse, e le premesse sono per lo meno discutibili.

In tanto si può giungere in infiniti modi alle medesime equazioni di LAGRANGE, in quanto si ammette di poter disporre ad arbi-

trio delle masse e dei vincoli, in quanto si riconosce dunque di ignorare moti nascosti.

Ma che un moto rimanga nascosto, o che diventi visibile, metaforicamente parlando, dipende dalle condizioni della ricerca sperimentale.

ENRICO HERTZ lo ha inteso e lo ha detto con piena chiarezza, ENRICO HERTZ, che, per ripetere ancora una volta la frase di ADRASTO di Afrodisia, aveva *il senso della fisica.*

I moti nascosti, egli osserva, sono tali probabilmente perchè *ciclici*, come è il moto di un liquido in un tubo piegato nella figura di una linea chiusa.

Non mutando la distribuzione delle masse o l'aspetto del mondo esteriore, essi rimangono appunto nascosti.

Ma anche i moti ciclici diventano visibili se ci si porge un mezzo di agire su l'intensità del loro flusso.

Queste *azioni perturbatrici* sono fornite dalla luce ultravioletta nelle esperienze del RIGHI e del LENARD, dalla temperatura elevata nelle ricerche del THOMSON e dell'HOULLEVIGUE e dal campo magnetico in quelle dello ZEEMAN.

Esperienze e ricerche, le quali rivelano concordemente nei conduttori e nelle sorgenti luminose l'esistenza di particelle elettrizzate, di elettricità negativa, con una massa duemila volte più piccola di quella che si deve assegnare ad un atomo di idrogeno. Particelle identiche alle altre che si muovono nei fasci catodici e che costituiscono i raggi beta delle sostanze radioattive.

Determinate le masse, bisognava procedere allo studio dei loro movimenti.

Fu merito quasi esclusivo di PAOLO DRUDE l'avere affrontato e risolto il problema della conduzione metallica. Anche qui si ripresentano i concetti della meccanica statistica, o anzi della teoria cinetica dei gas.

Il DRUDE mostrò infatti che i moti disordinati, completamente disordinati, degli elettroni bastano a spiegare e a collegare insieme molti fenomeni diversi : la differenza di potenziale che si origina alla superficie di contatto di due metalli eterogenei, la forza elettromotrice termoelettrica, l'effetto PELTIER e l'effetto THOMSON.

L'aumento di resistenza che i conduttori risentono al crescere della temperatura viene messo in rapporto con l'aumento di pressione in un gas scaldato a volume costante, e si rivela così la ragione profonda di una coincidenza numerica che pareva casuale.

Alla loro volta i calcoli del BOLTZMANN e i concetti della proba-

bilità si applicano, naturalmente, al nuovo problema, e si comprende dunque come altri fenomeni irreversibili, il passaggio per esempio dell'elettricità dall'alto al basso potenziale, possano rientrare nel quadro generale della meccanica.

***

Gli elettroni liberi alla pressione atmosferica e alla temperatura ordinaria hanno una velocità che è prossima ai 200 chilometri per secondo; ma essi procedono assai più rapidi nei fasci catodici o nei raggi beta, nei quali possono raggiungere i 100,000 chilometri.

Lo studio di queste condizioni eccezionali è particolarmente interessante, perchè rivela dei fatti nuovi.

Per NEWTON il rapporto fra la forza agente e l'accelerazione impressa, vale a dire la massa del corpo in moto, era costante; è una legge che verifichiamo tutti gli anni, con la macchina di ATWOOD, nei corsi elementari di fisica, e che appariva confermata dal complesso dei fenomeni meccanici e astronomici.

Le esperienze di WALTER KAUFMANN e i calcoli di MAX ABRAHAM ci rendono accorti che la sua validità è invece ristretta al campo dei moti non troppo rapidi.

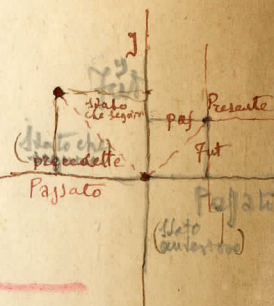
Quando la velocità supera un certo limite il rapporto fra forza e accelerazione non conserva più il valore iniziale; per imprimere un'accelerazione doppia è necessaria una forza più che doppia, o, in altre parole, la massa va di mano in mano crescendo.

Nessuna prova più bella e più convincente dell'origine sperimentale dei postulati meccanici.

Per GIORGIO HEGEL la costanza della massa era una nozione *a priori*. I suoi discepoli devono pure concedere che lo spirito, quando costruì la natura, dimenticò di considerare le velocità superiori ai 1000 o 10,000 chilometri per secondo.

***

LAPLACE ha detto nella introduzione alla *Théorie analytique des probabilités*, « che si deve considerare lo stato presente dell'universo « come l'effetto del suo stato anteriore e la causa di quello che se- « guirà ».

« Un'intelligenza che conoscesse tutte le forze che animano la na- « tura e la situazione rispettiva degli esseri che la compongono, quando « fosse abbastanza vasta per sottomettere i dati al calcolo, potrebbe « abbracciare in una stessa formola i movimenti degli astri e degli « atomi ».

Dal punto di vista analitico non si può mettere in dubbio ciò che LAPLACE afferma; le equazioni del moto sono equazioni differenziali ordinarie del secondo ordine, e, se si sanno scrivere e si sanno integrare, la determinazione completa degli integrali importa la conoscenza di un numero di costanti doppio di quello delle equazioni. La conoscenza, ad esempio, delle coordinate e delle velocità iniziali.

Si può dunque calcolare ciò che il sistema sarà ad un istante qualunque, se appena si conosce ciò che è e come diventa in un istante arbitrario.

Al tempo di LAPLACE del resto tutti i fatti apparivano d'accordo con questi resultati della meccanica analitica.

Al tempo nostro non più.

Si prende un tubo di gomma e lo si sospende in posizione verticale fissando con una morsa l'estremo superiore; e poi in basso si applica un peso.

Di quanto si allungherà il tubo?

Alla domanda non si può rispondere senz'altro. Perchè l'allungamento non è ancora determinato dalla sostanza e dalle dimensioni del sistema e dal peso tensore, vale a dire dalla forza esterna.

Coeteris paribus la deformazione dipende ancora dalla *storia anteriore* del tubo; esso si allunga in diversa misura, secondo che è stato o non è stato prima sottoposto ad azioni meccaniche.

Entro una spirale di filo metallico percorsa dalla corrente vi è un nucleo di ferro, quale magnetizzazione assumerà?

Anche qui non si risponde se non si sa quali vicende magnetiche abbia subìto per il passato quel pezzo di ferro.

Onde procedere innanzi nel caso dei fenomeni termici si sono completate da principio, come abbiamo veduto, le equazioni della dinamica, e solo più tardi si è visto che i termini aggiunti stavano a rappresentare l'influenza delle masse nascoste.

Qualche cosa di simile si può tentare per ciò che riguarda l'isteresi elastica e magnetica.

E in realtà siamo ora nella primissima fase della ricerca.

Analiticamente la storia anteriore del sistema sarà rappresentata da un integrale di tempo, e le equazioni prenderanno una forma nuova.

Il VOLTERRA, che si è posto per il primo il problema ed ha creato gli istrumenti e il metodo per risolverlo, le ha chiamate *equazioni integrodifferenziali.*

Intorno a questa meccanica ereditaria e più precisamente intorno alla sua importanza pratica e al significato filosofico sono stati sollevati dei dubbii da PAOLO PAINLEVÉ.

L'affermazione di LAPLACE è per lui incontrastabile, e la *storia* del sistema supplisce appena alla impotenza nostra a stabilire le condizioni iniziali; la meccanica dell'eredità è dunque, per usare le sue parole, un metodo transitorio.

Questo è vero forse in un certo senso, ma in un altro senso è certamente falso.

La meccanica statistica non ha eliminato la termodinamica, nè la teoria degli elettroni l'elettrodinamica classica. Un motore a scoppio o una rete di conduttori si calcolano anche adesso senza pensare alle configurazioni più probabili, o ai moti delle particelle elettrizzate.

È dunque ragionevole ammettere che anche quando i fenomeni di isteresi fossero ricondotti alle equazioni di LAGRANGE la riduzione avrebbe, come nei casi trattati da BOLTZMANN e da GIBBS e da DRUDE, un interesse più teorico che pratico.

D'altra parte, finchè un problema non è risolto sembra più prudente non affermarne con piena sicurezza la risolubilità.

Una cosa anzi possiamo dire fin d'ora: che se la soluzione esiste non deve essere agevole trovarla. Il caso limite che HELMHOLTZ considerò, nello studio dei fenomeni termici, non si potrebbe nemmeno imaginare per l'elasticità susseguente e il magnetismo residuo.

Che se il problema non fosse risolubile le conseguenze sarebbero senza dubbio gravi per la filosofia naturale.

La nozione stessa del determinismo andrebbe mutata, o per lo meno allargata, nel senso che l'avvenire non apparirebbe più come una conseguenza del presente soltanto.

Con tutto questo la scienza sarebbe sempre possibile, perchè l'osservazione ci attesta che non tutta la storia influisce, ma solo la storia più recente.

In linguaggio tecnico: i limiti inferiori degli integrali, che si devono introdurre nelle equazioni del moto, possono sempre tenersi finiti e anzi piccoli.

Del resto è così possibile la scienza nella concezione del VOLTERRA, che gli ingegneri, quando costruiscono una dinamo o un motore e tengono conto dell'isteresi, fanno, grossolanamente sia pure e senza saperlo, della meccanica ereditaria.

***

I fenomeni della luce, per la loro eleganza e per il carattere geometrico, attrassero da NEWTON in poi l'attenzione dei fisici.

In tempi più recenti le ricerche si sono svolte secondo due indi-

rizzi principali: si è cercato infatti di determinare con esattezza come la luce si propaga e come viene emessa. Ne sono risultati due grandi capitoli della fisica: lo studio delle interferenze e la spettroscopia; e ne sono risultati insieme due capitoli nuovi della meccanica: la teoria della relatività e la teoria dei quanti.

Galileo aveva riconosciuto a suo tempo che una palla lanciata verticalmente ricade sulla mano che la gettò, anche se l'operatore si trovi sopra un carro in movimento: e la meccanica della relatività generalizza questo primo risultato e ne fa un principio fondamentale della scienza, postulando che un osservatore non possa vedere alterate le leggi, se il sistema si muove con lui di moto traslatorio e uniforme.

L'estensione non va senza difficoltà. Nel caso delle masse visibili e dei moti lenti è lecito ridurre le coordinate dal sistema fisso al sistema in moto con le formole ordinarie della geometria analitica, con le formole dunque che nascono dall'ipotesi della quiete; e non si muta il tempo. Poichè determiniamo da secoli, con l'uso del cronometro, la longitudine in mare, quest'ultimo postulato, tacitamente ammesso, appare legittimo.

Ma la *trasformazione di Galileo*, come il LAUE l'ha chiamata, altera nei sistemi in moto le leggi dell'elettrodinamica; perchè si salvi il principio di relatività bisogna dunque ammettere altre formole. E così si introduce il concetto del *tempo locale*.

Nella nuova teoria un orologio in moto ritarda su l'orologio fermo, e

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2},$$

se v è la velocità della traslazione e c quella della luce $\left(= 3.10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}\right)$.

Il resultato teorico non contrasta coi resultati negativi delle esperienze; perchè i moti delle masse visibili sono sempre lenti, e la velocità stessa della terra nella sua orbita è di $3.10^6 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$.

Un controllo della teoria potrà venire, forse, dallo studio delle scariche nei tubi a vuoto. I ioni positivi, che si muovono nei raggi canali, hanno, nelle condizioni ordinarie, delle velocità dell'ordine di $3.10^7 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$; se si riuscisse a renderli 100 volte più rapidi, $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ risulterebbe dell'ordine di 10^{-2} e l'esame dello spettro farebbe sensibile il ritardo dell'*orologio in moto*.

***

L'ipotesi dei quanti, come ad illustrare la vivacità e la fecondità delle concezioni atomistiche, le estende dalla materia all'energia, e ammette che, almeno nei processi luminosi, l'emissione avvenga per *quanti* discreti.

Per citare solo il resultato più recente, un matematico danese, N. Bohr, ha potuto in questo ordine di idee, calcolare *a priori* gli spettri dell'idrogeno e dell'elio; e il mirabile successo sembra indicare che vi debba essere nella teoria atomica dell'energia qualche cosa di vero e di profondo. Si direbbe che Fresnel e Maxwell abbiano costruito l'ottica delle oscillazioni elettriche e non l'ottica della luce; si direbbe che la meccanica classica, anche generalizzata, si arresti alle soglie del mondo molecolare, del mondo, per essere precisi, delle molecole isolate o quasi isolate.

Lo studio dei moti browniani porta, naturalmente, alla medesima conclusione: perchè i concetti statistici non valgono dove non sono grandi numeri, e i corpi microscopici e ultramicroscopici non rispettano dunque il secondo principio.

***

Ma su queste dottrine non mi voglio indugiare, perchè della prima ha parlato da pari suo a Roma il prof. Guido Castelnuovo, della seconda a Genova, l'anno scorso, un mio giovane collega, il dott. Luigi Rolla.

Si tratta ad ogni modo di ricerche che non hanno raggiunto ancora la fase dell'equilibrio stabile.

Meglio fermarsi dunque e riassumere i resultati sicuri.

Noi sappiamo ormai con certezza che i fenomeni termici e i fenomeni propriamente elettrici si lasciano ridurre alla figura e al moto, sappiamo che l'universo tende a condizioni sempre più probabili, sappiamo che la dinamica classica illustra il caso delle piccole velocità, abbiamo posto finalmente, con la meccanica ereditaria, un maraviglioso problema della filosofia naturale.

Le vicende storiche hanno fatto sì che appena in questi ultimi tempi il nostro paese riprendesse la sua parte nell'opera comune; giova sperare che non gli manchi la lena.

Certi erramenti parziali non ci devono turbare.

Vi è nel museo di Napoli un affresco antico, dove, come nei versi di Ovidio, il giovinetto Narciso,

> . . . . *visae correptus imagine formae*
> *spem sine corpore amat* . . . . .

rapito nella sua visione di bellezza, ama una speranza priva di realtà.

Il giovinetto Narciso è divenuto caposcuola, e i discepoli, con minor gusto forse, ma con ugual resultato, contemplano le grazie del concetto puro.

Contro un indirizzo estraneo o anzi opposto al pensiero nazionale, prendiamo lieti gli auspici da questa terra di Toscana, dove Galileo riaccese la fiaccola della ricerca scientifica per noi e per gli altri, ma prima che per gli altri per noi.